

Magnetoresistiver Sensor

Die Erfindung betrifft einen magnetoresistiven Sensor zum Betrieb mit einem magnetisierten Encoder, der eine Zone mit abwechselnd entlang einer Bewegungsrichtung angeordneten magnetischen Nord- und Südpolen aufweist, umfassend eine Wheatstonesche Brückenordnung mit einem ersten Brückenweig zwischen einem ersten Speiseanschluß und einem ersten Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung, einem zweiten Brückenweig zwischen dem ersten Speiseanschluß und einem zweiten Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung, einem dritten Brückenweig zwischen einem zweiten Speiseanschluß und dem ersten Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung sowie einem vierten Brückenweig zwischen dem zweiten Speiseanschluß und dem zweiten Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung, worin jeder der Brückenweige ein ohmsches Widerstandselement mit einer Abhängigkeit des Widerstandswertes von der magnetischen Feldstärke eines auf das ohmsche Widerstandselement einwirkenden magnetischen Feldes gemäß einer vorgegebenen Kennlinie umfaßt. Die Erfindung betrifft ferner eine Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem genannten magnetisierten Encoder. Derartige Sensoren und Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung sind bevorzugt im Automobilbau für die Positionsmessung, Drehzahlmessung und Drehrichtungserkennung von bewegten Fahrwerks- und Motorteilen vorgesehen.

Ein Sensor der eingangs genannten Art ist aus der WO 00/29815 bekannt. Bei diesem Sensor sind die ohmschen Widerstandselemente des ersten und des vierten Brückenweigs einerseits und diejenigen des zweiten und des dritten Brückenweigs andererseits je ineinander verschachtelt angeordnet. Die ohmschen Widerstandselemente der vier Brückenweige sind im übrigen identisch ausgeführt, d.h. weisen übereinstimmende Widerstandswerte auf. Die beiden verschachtelten, als „Felder“ bezeichneten Anordnungen sind in einem räumlichen Abstand voneinander angebracht, der an wenigstens nahezu die Hälfte einer der Polflächen eines Ringmagneten angepaßt ist. Ein derartiger Ringmagnet wird gemäß WO 00/29815 typischerweise für die Geschwindigkeitsmessung von Kfz-Rädern benutzt. Der Abstand der „Felder“ ist demgemäß derart bemessen, daß eines der „Felder“ sich gerade über der Mitte einer der Polflächen des Ringmagneten befindet, wenn die andere der Polflächen sich über

BEST AVAILABLE COPY

einer Grenze zwischen zwei benachbarten Polflächen befindet. Da diese Anordnung an der Wheatstoneschen Brückenordnung ein Ausgangssignal hervorruft, welches für jede der Polflächen einen Wellenberg und ein Wellental aufweist, wird vom Sensor für jede der Polflächen ein Ausgangsimpuls bzw. eine Impulsperiode abgegeben. Gegenüber nach WO 00/29815 als herkömmlich bezeichneten Sensoren mit je einem Ausgangssignalimpuls für jedes überstrichene Polpaar kann somit der Ringmagnet auf die Hälfte verkleinert werden, wobei eine unveränderte Anzahl von Ausgangssignalimpulsen erhalten wird.

Bei einem unveränderten Ringmagneten wird daher eine Verdoppelung der Anzahl der Ausgangssignalimpulse, d.h. eine Frequenzverdoppelung des Ausgangssignals der Wheatstoneschen Brückenordnung, erreicht.

Die Erfindung hat die Aufgabe, einen magnetoresistiven Sensor zum Betrieb mit einem magnetisierten Encoder unter weiterer Verringerung der räumlichen Abmessungen zu schaffen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einem magnetoresistiven Sensor der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art dadurch gelöst, daß die Kennlinien der ohmschen Widerstandselemente im ersten und vierten Brückenweig untereinander zumindest im wesentlichen übereinstimmend und deutlich verschieden von den untereinander zumindest im wesentlichen übereinstimmend gewählten Kennlinien der ohmschen Widerstandselemente im zweiten und dritten Brückenweig gewählt sind.

Ein derart aufgebauter Sensor ist sehr kompakt und ermöglicht unter Beibehaltung der Frequenzverdoppelung des Ausgangssignals der Wheatstoneschen Brückenordnung eine weitere Verringerung der Abmessungen einer damit ausgestatteten Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung.

Die durch eine in der Zukunft angestrebte Verkleinerung der mechanischen Komponenten im Automobilbereich (z.B. Radlager) und der damit verbundenen Einschränkung der Platzverhältnisse bestehende Anforderung, die Auflösung des Ausgangssignals von Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtungen beizubehalten bzw. zu verbessern, wird durch Anwendung der Frequenzverdopplung bereits im magnetoresistiven Sensor erfüllt. Mit Hilfe der Erfindung können Positionen und Drehzahlen ermittelt werden, wobei die Frequenz des Ausgangssignals des Sensors gegenüber herkömmlichen Sensoren ohne Verwendung zusätzlicher elektronischer Komponenten verdoppelt ist.

An dieser Stelle sei bemerkt, daß aus der DE 33 17 594 A1 ein Magnetfeldsensor bekannt ist, der aus zwei in Reihe geschalteten Sensorelementen besteht, die mit zwei Widerstandselementen eine Wheatstonesche Brückenschaltung bilden. Die Sensorelemente weisen parallel liegende Strompfade aus magnetoresistivem Material auf, die ohne Einwirkung

eines Magnetfeldes in derselben Richtung magnetisiert sind. Bei Einwirkung eines Magnetfeldes ändern sich die ohmschen Widerstandswerte der Sensorelemente gleichsinnig, so daß die im Nullzweig der Wheatstoneschen Brücke gemessene Spannung ein Maß für den Betrag des Magnetfeldgradienten ist.

- 5 Ferner sei bemerkt, daß aus der DE-OS 29 11 733 ein Magnetfeldsensor bekannt ist, der zwei Sensorelemente mit aus magnetoresistivem Material bestehenden Hauptstromleitpfaden aufweist, die zueinander senkrecht angeordnet sind, und die mit Vormagnetisierungsfeldern gespeist werden, welche sich zueinander in derselben Richtung und unter einem Winkel von 45° in Bezug auf jeden Hauptstromleitpfad erstrecken. Die in Reihe
10 geschalteten Sensorelemente bilden mit zwei magnetfeldunabhängigen ohmschen Widerstandselementen eine Wheatstonesche Brückenschaltung. Eine in deren Nullzweig gemessene Ausgangsspannung ist abhängig von einer Winkelverschiebung des Vormagnetisierungsfeldes oder der Hauptstromleitpfade. Daher wird gemäß der Lehre dieser Schrift eine Anordnung der Sensorelemente mit einander parallelen Hauptstromleitpfaden, aber zueinander
15 entgegengesetzten Vormagnetisierungsfeldern empfohlen, wobei insbesondere die Sensorelemente im Abstand voneinander angeordnet sind.

- In einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors ist vorgesehen, daß die Widerstandswerte der ohmschen Widerstandselemente in zwei Brückenzweigen mit untereinander zumindest im wesentlichen übereinstimmend gewählten
20 Kennlinien zumindest im wesentlichen konstant über der magnetischen Feldstärke des auf die ohmschen Widerstandselemente einwirkenden magnetischen Feldes sind. Damit wird die Wheatstonesche Brückenordnung mit zwei magnetfeldbeeinflussten und zwei magnetfeldunabhängigen Brückenzweigen gebildet. Die magnetfeldunabhängigen Brückenzweige können bevorzugt mit Festwiderständen ausgeführt sein.

- 25 In einer weiteren vorteilhaften Fortbildung der Erfindung sind die ohmschen Widerstandselemente mit über der magnetischen Feldstärke des auf die ohmschen Widerstandselemente einwirkenden magnetischen Feldes zumindest im wesentlichen konstanten Widerstandswerten mit einer magnetischen Abschirmung ausgebildet. Alle Widerstandselemente können dann im selben Herstellungsschritt mit wenigstens nahezu identischer Bemessung ge-
30 staltet werden, wodurch sich eine einfache und genaue Herstellung ergibt. Die Widerstandselemente, die zumindest im wesentlichen konstanten Widerstandswerte aufweisen sollen, werden zusätzlich magnetisch geschirmt, damit ein auf den Sensor einwirkendes Magnetfeld keinenEinfluß auf diese Widerstandselemente ausüben kann.

- Bevorzugt ist der erfindungsgemäße Sensor in einer Bewegungs- und/oder
35 Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem magnetisierten Encoder, der eine Zone mit

abwechselnd entlang einer Bewegungsrichtung angeordneten magnetischen Nord- und Südpolen aufweist, einsetzbar. Diese Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung weist vorteilhaft eine Frequenzauswerteeinrichtung auf, die an einem Eingang mit den Signalausgangsanschlüssen der Wheatstoneschen Brückenordnung gekoppelt ist und an einem Ausgang ein Signal abgibt, welches ein Maß für die Frequenz eines vom magnetoresistiven Sensor abgegebenen Signals bildet.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im Nachfolgenden näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 das Prinzipschaltbild eines Beispiels für einen erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensor in Wheatstonescher Brückenordnung,

Fig. 2 Kennlinien der ohmschen Widerstandselemente eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors als Darstellung der Abhängigkeit des Widerstandswertes der ohmschen Widerstandselemente von der magnetischen Feldstärke eines auf die ohmschen Widerstandselemente einwirkenden magnetischen Feldes,

Fig. 3 Kennlinien der ohmschen Widerstandselemente eines weiteren Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors als Darstellung der Abhängigkeit des Widerstandswertes der ohmschen Widerstandselemente von der magnetischen Feldstärke eines auf die ohmschen Widerstandselemente einwirkenden magnetischen Feldes,

Fig. 4 eine Ausgangskennlinie der Wheatstoneschen Brückenordnung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors als Funktion einer über den Signalausgangsanschlüssen der Wheatstoneschen Brückenordnung gemessenen Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der magnetischen Feldstärke eines auf die Wheatstonesche Brückenordnung einwirkenden magnetischen Feldes,

Fig. 5 ein Beispiel für eine über den Signalausgangsanschlüssen der Wheatstoneschen Brückenordnung gemessene Ausgangsspannung nach Vergleich mit einer Schaltschwelle,

Fig. 6 eine Ausbildung einer Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem linearen magnetisierten Encoder als erstes Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors,

Fig. 7 eine Ausbildung einer Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem rotationssymmetrischen magnetisierten Encoder als zweites Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors mit Anordnung des Sensors am Umfang des Encoders über dessen Mantelfläche, und

Fig. 8 eine Ausbildung einer Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einer Abwandlung eines rotationssymmetrischen magnetisierten Encoders als drittes Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors mit Anordnung des Sensors am Umfang des Encoders über dessen Stirnfläche.

Magnetoresistive Sensoren, im folgenden der Einfachheit halber nur als „Sensoren“ bezeichnet, sind bevorzugt aus wenigstens einer Wheatstoneschen Brückenordnung gebildet, deren Brückenarme mit Widerstandselementen ausgestaltet sind. Ein Beispiel für eine derartige Anordnung zeigt Fig. 1. In diesem mit dem Bezugszeichen 11 bezeichneten Sensor sind die einzelnen Widerstandselemente im ersten, zweiten, dritten bzw. vierten Brückenarm mit den Bezugszeichen 1, 2, 3 bzw. 4 versehen. Die einzelnen Widerstandselemente werden vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material gefertigt, z.B. Permalloy, welches eine Verbindung u.a. aus Nickel und Eisen darstellt. Das Material wird vorteilhaft in Streifen ausgelegt, um durch die resultierende Streifenlänge einen definierten Widerstandswert R_i des einzelnen Widerstandselements $i=1, 2, 3$ bzw. 4 zu erreichen.

Die Wheatstonesche Brückenordnung nach Fig. 1 weist weiterhin einen ersten und einen zweiten Speiseanschluß 5 bzw. 6 auf, an denen im Betrieb eine Speisepannung zugeführt wird. Das in der Darstellung der Fig. 1 mit dem Bezugszeichen V1 bezeichnete Ausgangssignal der Wheatstoneschen Brückenordnung wird zwischen einem ersten und einem zweiten Signalausgangsanschluß 7 bzw. 8 abgegriffen.

Unter der Einwirkung eines äußeren – vom Sensor zu messenden – magnetischen Feldes mit der magnetischen Feldstärke H ändern die Widerstandselemente i ihre Widerstandswerte R_i , und das resultierende Ausgangssignal V1 der Wheatstoneschen Brückenordnung ist eine Funktion dieser magnetischen Feldstärke H . Der Widerstandswert R_i eines derartigen Widerstandselements i ändert sich dabei insbesondere nach einer quadratischen Funktion. Aufgrund der quadratischen Abhängigkeit ist die Kennlinie zwischen dem Widerstandswert R_i eines derartigen Widerstandselements i und der magnetischen Feldstärke H abhängig vom Betrag, jedoch unabhängig vom Vorzeichen der Feldstärke H .

Für Anwendungen, bei denen keine lineare Kennlinie gefordert wird, können die magnetoresistiven Widerstandselemente mit nichtlinearer bzw. quadratischer Kennlinie eingesetzt werden. Hierzu gehört u.a. die Drehzahlmessung mit aktiven (z.B. magnetisierte Räder) oder passiven Encodern (z.B. ferromagnetische Zahnräder). Für z.B. eine Drehzahlmessung wird lediglich eine Erfassung z.B. der Nulldurchgänge des Ausgangssignals

eines solchen Sensors benötigt, die relativ einfach mit einer dem Sensor nachgeschalteten Komparatoranordnung zu realisieren ist.

Bei aktiven Encodern (z.B. magnetisierten Polrädern) kann abhängig vom Abstand zwischen Sensor und Encoder der Betrag der magnetischen Feldstärke H gemessen werden, wobei der Abstand als Amplitudenhöhe des Ausgangssignals dargestellt wird. Die magnetisierten Encoder können z.B. eine lateral abwechselnd magnetisierte Schicht aufweisen (abwechselnde magnetische Nord-Südpole).

Bei einer relativen Bewegung des magnetisierten Encoders zu einem herkömmlichen Sensor ohne Frequenzverdoppelung wird ein periodisches Ausgangssignal erzeugt, welches bei einer Bewegung über ein Paar aus je einem zueinander benachbart angeordneten Nord- und Südpol der magnetisierten Schicht hinweg nur eine Signalperiode aufweist. Die Ausgangssignale können dabei unterschiedliche Signalformen annehmen, z.B. Dreieck, Rechteck, Sinus, usw., mit entsprechenden Nulldurchgängen. Ein Paar der genannten Art, als Polpaar bezeichnet, weist eine Polpaarbreite λ auf.

Für die Drehzahlmessung werden bei herkömmlichen Verfahren mit Drehzahlsensoren z.B. die Grenzen zwischen den magnetischen Nord- und Südpolen zur Nulldurchgangserkennung verwendet. Hierbei werden Signalverarbeitungsanordnungen mit einfachen Komparatoranschaltungen eingesetzt, die aus den stetigen Ausgangssignalen der Sensoren binäre Signale erzeugen, die entsprechend von einer weiteren nachgeschalteten Auswerteeinheit bearbeitet werden können. Ein Anwendungsbeispiel ist die Drehzahlmessung für Bremssysteme im Automobil mit Antiblockiersystemen. Mit Hilfe einer Zählerschaltung kann bei bekannter Anzahl der magnetischen Nord- und Südpole auf dem eingesetzten Encoder die Drehzahl ermittelt werden. Bei den herkömmlichen Verfahren entspricht somit die Frequenz der genannten binären Signale der Anzahl der Polpaare des Encoders.

Für zukünftige Anwendungen magnetoresistiver Sensoren ist jedoch eine Erhöhung der Auflösung der Ausgangssignale der Sensoren über der Bewegungskordinate des Encoders vorteilhaft. Insbesondere für den Einsatz von Encodern mit verringerten Abmessungen sowie für eine Erhöhung der Frequenz der Ausgangssignale ist es zu bevorzugen, wenn bereits der Sensor unmittelbar ein Ausgangssignal mit verdoppelter Frequenz zur Verfügung stellt. Dies gilt insbesondere für Anwendungsfälle mit erhöhter Anforderung an die Betriebssicherheit auch im Fehlerfall, z.B. im Automobilbereich.

Weiterhin soll ein Sensor bevorzugt universell für unterschiedliche Anwendungsfälle einsetzbar sein. Insbesondere soll vermieden werden, den Sensor in unterschiedlichen Anwendungsfällen an die jeweils eingesetzten Encoder baulich anpassen zu müssen.

Bei dem erfindungsgemäßen Sensor, der diese Anforderungen auf einfache Weise erfüllt und bevorzugt gemäß Fig. 1 mit einer Wheatstoneschen Brückenordnung mit vier Brückenzeigen aufgebaut ist, bestimmt sich das Ausgangssignal V1 gemäß der Gleichung

$$V1 = (R1/(R1+R3)) - (R2/(R2+R4)).$$

- 5 Werden in den vier Brückenzeigen vier Widerstandselemente mit der gleichen Abhängigkeit von der Feldstärke H eines in der Umgebung des Sensors wenigstens weitgehend homogenen äußeren Magnetfeldes eingesetzt, so ergeben sich durch den Einfluß dieses äußeren Magnetfeldes zwar Änderungen der einzelnen Widerstandswerte Ri; diese sind jedoch wenigstens nahezu identisch und bewirken somit keine Änderung des Ausgangssignals V1. Dieses
10 Ausgangssignal V1 ist somit keine Funktion der Feldstärke H.

Um eine unterschiedliche Änderung der Widerstandswerte Ri der einzelnen Widerstandselemente $i = 1, 2, 3, 4$ mit der Feldstärke zu erreichen, werden gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung in zwei Brückenzeigen der Wheatstoneschen Brücken-
anordnung – z.B. im zweiten und im dritten Brückenzeig – Widerstandselemente 2, 3 mit
15 konstantem Widerstandswert ($R2=const.; R3=const.$) – im folgenden auch als Festwiderstände bezeichnet – eingesetzt. Durch den Einfluß des äußeren magnetischen Feldes der Feldstärke H ergeben sich Widerstandsänderungen der magnetoresistiven Widerstandselemente 1, 4 in den beiden anderen Brückenzeigen, hier dem ersten und dem vierten, während die Festwiderstände ihren Wert beibehalten.

- 20 Fig. 2 zeigt beispielhafte Verläufe derartiger Kennlinien für die Änderung der Widerstandswerte Ri mit der Feldstärke Hy eines äußeren Feldes. Während die Festwiderstände 2, 3 ihre hier übereinstimmend gewählten Widerstandswerte $R2 = R3 = const.$ über den gesamten Wertebereich der Feldstärke Hy von +Hymax bis –Hymax beibehalten, verändern sich die hier ebenfalls übereinstimmend gewählten Widerstandswerte $R1 = R4$ über dem genannten
25 Wertebereich der Feldstärke Hy von +Hymax bis –Hymax zwischen den Grenzwerten Rmax bei $Hy = 0$ und Rmin bei $Hy = +Hymax$ und $Hy - Hymax$. Vorzugsweise weist diese Kennlinie Ri(Hy) wenigstens in einem Wertebereich um $Hy = 0$ einen wenigstens nahezu quadratischen Verlauf auf.

- Bei einer derartigen Wahl der Widerstandswerte Ri wird zwischen dem ersten
30 und dem zweiten Signalausgangsanschluß 7 und 8 ein Ausgangssignal V1 erhalten, welches ebenfalls eine nichtlineare Abhängigkeit von der Feldstärke Hy aufweist. Bei Einsatz eines in der beschriebenen Weise ausgelegten Sensors über einem magnetisierten Encoder wird ein Ausgangssignal V1 erzeugt, welches eine doppelte Frequenz gegenüber den vorstehend beschriebenen, herkömmlichen Drehzahlsensoren aufweist. Durch die Auswertung des
35 Sensorsignals mit Hilfe einer einfachen Komparatorschaltung kann auch hier ein binäres Signal

gewonnen werden.

Die Festwiderstände lassen sich in einfacher Weise mit Werkstoffen ausbilden, deren Widerstandseigenschaften magnetfeldunabhängig sind. In einer Abwandlung dieses Ausführungsbeispiels werden die Festwiderstände mit magnetoresistiven Widerstandselementen ausgebildet, die jedoch durch eine zusätzlich aufgebrachte magnetische Abschirmung der Einwirkung des äußeren Magnetfeldes entzogen sind. Hierbei ergibt sich ebenfalls eine Verdopplung der Ausgangssignalfrequenz gegenüber den beschriebenen herkömmlichen Sensoren.

Die Widerstandswerte R_i der Widerstandselemente $i=1, 2, 3, 4$ sind von der Wahl der Werkstoffzusammensetzung und der räumlichen Gestaltung abhängig und können durch deren Veränderung eingestellt werden. Dies gilt auch für die erzielten Abhängigkeiten der Widerstandswerte R_i von der Feldstärke H . Zur Beschreibung der Werkstoffeigenschaften der Widerstandselemente $i=1, 2, 3, 4$ wird eine als charakteristische Feldstärke H_0 bezeichnete Materialkonstante herangezogen, die sich gemäß den nachstehenden Beziehungen zu

$$H_0 = H_k + H_d, \text{ mit } H_k = 2 \cdot k/M \text{ und } H_d = -N \cdot M$$

ergibt, wobei mit

- H_k die Anisotropiefeldstärke des Werkstoffs, die von dem einzusetzenden Material und den Herstellungsprozessen bestimmt wird,
- H_d die Demagnetisierungsfeldstärke H_d (auch Formanisotropie genannt), die von den geometrischen Ausdehnungen des Materials bestimmt wird,
- k eine Materialkonstante,
- N ein Demagnetisierungsfaktor und
- M eine interne Magnetisierung des Werkstoffes bezeichnet ist.

In einem zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Sensors werden diese Eigenschaften dahingehend ausgenutzt, daß durch entsprechende Formung der durch Streifen des genannten Werkstoffs gebildeten Widerstandselemente – d.h. ihrer Höhe, Breite, usw. – für die einzelnen Widerstandselemente unterschiedliche charakteristische Feldstärken H_0 und damit nichtlineare Kennlinien mit unterschiedlichen Verläufen erzeugt werden können.

Ein Beispiel dafür ist in der Fig. 3 wiedergegeben, die im übrigen in ihrer Darstellung der Fig. 2 entspricht. Gegenüber dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Widerstandswerte R_1, R_4 der Widerstandselemente 1 und 4 unverändert, wohingegen für die Widerstandselemente 2, 3 eine Abhängigkeit von der Feldstärke H_y in der dargestellten Art gewählt ist, in der die Widerstandswerte R_2, R_3 mit der Feldstärke H_y noch stärker variieren als die Widerstandswerte R_1, R_4 .

Fig. 4 zeigt eine exemplarische Meßkurve für eine Ausgangskennlinie der Wheatstoneschen Brückenordnung des durch Fig. 3 beschriebenen Ausführungsbeispiels als Funktion des über den Signalausgangsanschlüssen 7, 8 der Wheatstoneschen Brückenordnung gemessenen Ausgangssignals V1 in Abhängigkeit von der magnetischen Feldstärke H_y eines auf die Wheatstonesche Brückenordnung einwirkenden magnetischen Feldes. In der Darstellung dieses Diagramms ist jedoch das Ausgangssignal V1 als Ausgangsspannung in mV aufgetragen und mit U_{out} benannt. Die Maßeinheit für die Feldstärke H_y beträgt kA/m. Mit U_b ist in Fig. 4 die im Betrieb zwischen dem ersten und dem zweiten Speiseanschluß 5 bzw. 6 der Wheatstoneschen Brückenordnung angelegte Speisepannung benannt, die für die gezeigte Meßkurve einen Wert von 5V aufweist.

Eine vergleichbare Kurve erhält man auch für einen gemäß Fig. 2 dimensionierten Sensor.

Durchläuft bei einem äußeren Magnetfeld, welches auf einen durch eine Kennlinie der in Fig. 4 gezeigten Art beschriebenen Sensor wirkt, die Feldstärke H_y einen Zyklus z.B. von $H_y = 0$ über $H_y = H_{y\max}$, $H_y = 0$, $H_y = -H_{y\max}$ zurück nach $H_y = 0$, ist anhand des Diagramms der Fig. 4 erkennbar, daß während dieses Durchlaufs das Ausgangssignal V1 bzw. die Ausgangsspannung U_{out} zwei Zyklen seiner bzw. ihrer Variation zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert durchläuft. An den Signalausgangsanschlüssen 7, 8 der Wheatstoneschen Brückenordnung ergibt sich damit ein Ausgangssignal V1, welches im Vergleich zu der durch die Bewegung gegenüber den Polpaaren des Encoders hervorgerufenen Variation der Feldstärke H_y eine Verdopplung der Frequenz aufweist.

Fig. 5 zeigt einen beispielhaften Verlauf eines binären Signals VA, welches aus dem stetigen Verlauf des Ausgangssignals V1 durch Vergleich mit einer Schaltschwelle V_{ref} in an sich bekannter Weise gewonnen worden ist. Zum Vergleich ist unter dem binären Signal VA schematisch die Lage eines Polpaares N – S des Encoders skizziert und sind die Abmessungen der Pole N und S des Encoders entlang seiner Bewegungskoodinaten L mit Hilfe der Polpaarbreite 1 bzw. der halben Polpaarbreite $1/2$ eingetragen. Der Bewegung zwischen Sensor und Encoder entlang der Bewegungskoodinate L um eine Polpaarbreite 1 entsprechen zwei Perioden des binären Signals VA.

Die frequenzverdoppelnde Eigenschaft des erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors fördert in vorteilhafter Weise den Einsatz in unterschiedlichsten Anwendungen zur Drehzahl- und Positionsmessung (Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmessung) mit magnetisierten Encodern. Die Encoder können hierbei z.B. als Linealmaßstab zur Linearwegmessung oder als Rad zur Drehzahlmessung eingesetzt werden. Dabei lassen sich die nachfolgend zu Fig. 6 bis 8 beschriebenen Anwendungsbeispiele mit unterschiedlichen Ausführungen des Encoders bei

entsprechender weiterer Verarbeitung der Ausgangssignale auch zur Positionsbestimmung einsetzen.

Fig. 6 zeigt eine Ausbildung einer Bewegungs- und/oder

Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem linearen magnetisierten Encoder 10 als erstes

- 5 Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors 11. Darin sind bereits beschriebene Elemente wieder mit identischen Bezugszeichen versehen. Gemäß der im oberen Teil der Fig. 6 dargestellten Blockschaltbild ist der Sensor 11 über seine Signalausgangsanschlüsse 7 und 8 mit Eingangsanschlüssen eines Differenzverstärkers 12 verbunden, der zum Verstärken des vom Sensor 11 abgegebenen Ausgangssignals V1 dient. Zum 10 Weiterverarbeiten des verstärkten Ausgangssignals ist der Differenzverstärker 12 mit seinem Ausgangsanschluß an einen ersten Eingangsanschluß eines Komparators 13 angeschlossen, dem über einen zweiten Eingangsanschluß eine Spannung V_{ref} zugeführt wird. Die Spannung V_{ref} bildet eine Schaltschwelle, mit der der stetige Verlauf des (verstärkten) Ausgangssignals V1 verglichen wird zum Gewinnen eines binären Signals VA am Ausgang des Komparators 13.

- 15 Im mittleren Teil der Fig. 6 ist schematisch die Anordnung der magnetischen Nordpole N und Südpole S des magnetisierten Encoders 10 wiedergegeben. Der Verlauf der magnetischen Feldlinien 14 zwischen den Polen N und S ist angedeutet. Jedes Polpaar aus einem Nord- und einem Südpol N, S weist – entlang der Bewegungskordinate L des Encoders 10 gemessen – die Polpaarbreite λ auf. Der Sensor 11 ist mit seiner flächigen Ausdehnung 20 planparallel zur Oberfläche des Encoders 10 ausgerichtet.

Im unteren Teil der Fig. 6 ist der Verlauf des binären Signals VA über der Bewegungskordinate L des Encoders 10 aufgetragen, der demjenigen der Fig. 5 entspricht.

Fig. 7 zeigt eine Ausbildung einer Bewegungs- und/oder

Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem rotationssymmetrischen magnetisierten Encoder 15

- 25 als zweites Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors 11 mit Anordnung des Sensors 11 am Umfang des Encoders 15 über dessen Mantelfläche 16. Auch hier ist der Sensor 11 mit seiner flächigen Ausdehnung planparallel zur Mantelfläche 16 des Encoders 15 ausgerichtet. Im übrigen entspricht die Anordnung derjenigen nach Fig. 6.

Fig. 8 zeigt eine Ausbildung einer Bewegungs- und/oder

- 30 Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einer Abwandlung eines rotationssymmetrischen magnetisierten Encoders 17 als drittes Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen magnetoresistiven Sensors 11 mit Anordnung des Sensors 11 am Umfang des Encoders 17 über dessen Stirnfläche 18. Der Sensor 11 ist mit seiner flächigen Ausdehnung planparallel zur Stirnfläche 18 des Encoders 17 ausgerichtet. Im übrigen entspricht die Anordnung denjenigen 35 nach Fig. 6 und 7.

Der erfindungsgemäße Sensor sowie die erfindungsgemäße Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung sind gegenüber der in der WO 00/29815 gezeigten Anordnung kompakter und einfacher aufgebaut. Damit ist es vorteilhaft möglich, einer gewünschten Verringerung der Abmessungen von Bauteilen insbesondere im Automobilbereich, z.B. Verkleinerung der Radlager, und der damit einhergehend geforderten Gewichts- und Kosteneinsparung besser zu entsprechen.

Durch die Reduzierung der Abmessungen der genannten Bauteile im Automobilbereich ist es unumgänglich, die dort eingesetzten magnetisierten Encoder ebenfalls zu verkleinern. Die Verkleinerung des Encoders führt bei herkömmlichen Drehzahlsensoren dazu, daß sich bei ansonsten gleichbleibenden Eigenschaften des Encoders die magnetische Feldstärke des dem Sensor durch den Encoder aufgeprägten äußeren Feldes drastisch verringert. Folgen sind hierbei u.a. ein eingeschränkter nutzbarer Luftspaltbereich zwischen Encoder und Sensor bei gleicher Anzahl der Magnetpole. Werden, um den nutzbaren Luftspaltbereich beizubehalten, die magnetischen Eigenschaften der Magnetisierung des Encoders verbessert, z.B. durch ein stärkeres magnetisches Material, oder die geometrischen Verhältnisse verändert, z.B. durch eine Reduzierung der Anzahl der Magnetpole auf dem Encoder, erkauft man sich dies mit einer geringeren Auflösung des Ausgangssignals, die gerade bei niedrigen Geschwindigkeiten des Encoders zu Verschlechterungen der Meßergebnisse führen kann. Um dies zu vermeiden, empfiehlt es sich, eine frequenzverdoppelnde Sensoranordnung einzusetzen.

Neben dem Einsatz von dem Sensor nachgeschalteten Signalverarbeitungsstufen zur Erzeugung binärer Signale mit einer gegenüber der Frequenz des Ausgangssignals des Sensors erhöhten Frequenz und dem damit verbundenen Aufwand ist es einfacher und betriebssicherer, eine Frequenzverdoppelung innerhalb des Sensors auszuführen. Der magnetoresistive Sensor mit nichtlinearer Kennlinie ermöglicht es, gegenüber herkömmlichen Drehzahlsensoren die Frequenz des binären Signals zu verdoppeln. Weiterhin bietet der magnetoresistive Sensor mit nichtlinearer Kennlinie den Vorteil einer von den Abmessungen des jeweils verwendeten Encoders unabhängigen Anwendung, d.h. daß für magnetisierte Encoder mit unterschiedlichen Polpaarbreiten λ lediglich eine Bauform des Sensors benötigt wird. Die Kosten für die Bereitstellung verschiedener Sensorbauformen für Encoder mit unterschiedlichen Polpaarbreiten entfallen somit.

Für Positionsmessungen an magnetisierten Encodern ergeben sich durch die Frequenzvervielfachung ebenfalls Vorteile. Hierzu gehört z.B. die Verringerung des Schaltungsaufwands für die elektronische Auswerteschaltung bei Anwendung von Interpolationsmethoden. Mit Hilfe der Frequenzverdopplung kann der Interpolationsfaktor reduziert werden. Dies bedeutet weniger Platzbedarf bezüglich des Aufwandes für die elektronischen Komponenten

und eine wesentliche Kostenreduzierung.

Aufgrund der nichtlinearen bzw. insbesondere zumindest abschnittsweise quadratischen Kennlinie des Sensors besteht nicht die Gefahr des sogenannten "Flippens", d.h. der Kennlinienumkehr bei Richtungsänderung des äußeren Magnetfeldes, die bei linearisierten

5 Kennlinien vorhanden sein kann. Um dieses „Flippen“ durch äußere Magnetfelder zu verhindern, wird bei bekannten Anordnungen vorzugsweise ein Hilfsmagnet am Sensor angebracht. Bei dem erfindungsgemäßen Sensor wird ein solcher Hilfsmagnet nicht benötigt. Somit können Einbauraum und Kosten reduziert werden.

Gegenüber Sensoren mit orthogonaler Anordnung zum magnetisierten Encoder,

10 wie sie z.B. bei Winkelsensoren üblich ist, bietet der erfindungsgemäße Sensor mit nichtlinearer Kennlinie den Vorteil der planparallelen Anordnung zur Oberfläche des magnetisierten Encoders. Hierdurch besteht die Möglichkeit, eine günstige Einbaulage des Sensors zum Encoder zu erreichen, in der die hohen magnetischen Feldstärken des Encoders ausgenutzt werden können.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Magnetoresistiver Sensor zum Betrieb mit einem magnetisierten Encoder, der eine Zone mit abwechselnd entlang einer Bewegungsrichtung angeordneten magnetischen Nord- und Südpolen aufweist, umfassend eine Wheatstonesche Brückenordnung mit einem ersten Brückenarm zwischen einem ersten Speiseanschluß und einem ersten Signalausgangsanschluß
5 der Wheatstoneschen Brückenordnung, einem zweiten Brückenarm zwischen dem ersten Speiseanschluß und einem zweiten Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung, einem dritten Brückenarm zwischen einem zweiten Speiseanschluß und dem ersten Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung sowie einem vierten Brückenarm zwischen dem zweiten Speiseanschluß und dem zweiten
10 Signalausgangsanschluß der Wheatstoneschen Brückenordnung, worin jeder der Brückenarme ein ohmsches Widerstandselement mit einer Abhängigkeit des Widerstandswertes von der magnetischen Feldstärke eines auf das ohmsche Widerstandselement einwirkenden magnetischen Feldes gemäß einer vorgegebenen Kennlinie umfaßt,
 dadurch gekennzeichnet, daß die Kennlinien der ohmschen Widerstandselemente
15 im ersten und vierten Brückenarm untereinander zumindest im wesentlichen übereinstimmend und deutlich verschieden von den untereinander zumindest im wesentlichen übereinstimmend gewählten Kennlinien der ohmschen Widerstandselemente im zweiten und dritten Brückenarm gewählt sind.
- 20 2. Magnetoresistiver Sensor nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandswerte der ohmschen Widerstandselemente in zwei Brückenarmen mit untereinander zumindest im wesentlichen übereinstimmend gewählten Kennlinien zumindest im wesentlichen konstant über der magnetischen Feldstärke des auf die ohmschen Widerstandselemente einwirkenden
25 magnetischen Feldes sind.
3. Magnetoresistiver Sensor nach Anspruch 2,
 dadurch gekennzeichnet, daß die ohmschen Widerstandselemente mit über der

magnetischen Feldstärke des auf die ohmschen Widerstandselemente einwirkenden magnetischen Feldes zumindest im wesentlichen konstanten Widerstandswerten mit einer magnetischen Abschirmung ausgebildet sind.

- 5 4. Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung mit einem magnetisierten Encoder, der eine Zone mit abwechselnd entlang einer Bewegungsrichtung angeordneten magnetischen Nord- und Südpolen aufweist,
gekennzeichnet durch einen magnetoresistiven Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3.
- 10 5. Bewegungs- und/oder Geschwindigkeitsmeßeinrichtung nach Anspruch 4,
gekennzeichnet durch eine Frequenzauswerteeinrichtung, die an einem Eingang mit den Signalausgangsanschlüssen der Wheatstoneschen Brückenordnung gekoppelt ist und an einem Ausgang ein Signal abgibt, welches ein Maß für die Frequenz eines vom magnetoresistiven Sensor abgegebenen Signals bildet.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.